

第 6 4 回「地域の会」定例会資料

前回（9 / 3）以降の動き

<公表関係>

◎不適合事象関係

【区分Ⅲ】

- ・ 9 月 2 2 日 放水路（屋外）におけるけが人の発生について

平成 20 年 9 月 19 日午前 11 時 20 分頃、3 号機放水路（屋外）において協力企業作業員（潜水作業員）が、高圧ジェット洗浄装置を使用して放水路に付着した海生生物（貝類等）の除去作業を実施していたところ、高圧ジェット洗浄装置ノズルからの洗浄水（高圧水）が右手に当たり、負傷しました。このため、業務車で病院へ搬送し、診察を受けました。診察の結果、右手人差し指・中指・薬指・小指高圧注入損傷（右手親指以外の 4 本の指に高圧の液体が当たって受けた傷）と診断されました。今後、作業手順の再徹底および作業方法の改善（工具の改良等）を図り再発防止に努めます。

- ・ 9 月 2 4 日 タービン建屋（管理区域）におけるけが人の発生について

平成 20 年 9 月 22 日午後 3 時 45 分頃、3 号機タービン建屋地下 3 階復水器（B）海側エリア（管理区域）において協力企業作業員が、復水器の弁の点検準備を実施していたところ、架台上の開口部に足を踏み外し負傷しました。このため、業務車で病院へ搬送し、診察を受けました。なお、作業員の身体に放射性物質による汚染はありません。診察の結果、左膝切創（12 針の縫合・骨には異常なし）と診断されました。今後、可能な限り開口部が生じない様に作業手順の見直しを図り、再発防止に努めます。

【続報】

- ・ 9 月 1 1 日 柏崎刈羽原子力発電所 1・2 号機サービス建屋における発煙に関する原因と対策について
〔プレス文 添付〕
- ・ 9 月 1 2 日 「柏崎刈羽原子力発電所 6 号機 制御棒駆動機構と制御棒の結合不良について（中間報告）」の経済産業省原子力安全・保安院への提出について
〔プレス文 添付〕
- ・ 9 月 1 2 日 柏崎刈羽原子力発電所 6 号機における保安規定違反事象（改善指示）について
〔プレス文 添付〕
- ・ 9 月 1 9 日 柏崎刈羽原子力発電所 6・7 号機における低圧タービン動翼の損傷に関する原因と対策の報告について
〔プレス文 添付〕

<新潟県中越沖地震関係>

- ・ 9月 4日 新潟県中越沖地震後の点検・復旧作業の状況および不適合について
(週報:9月4日)
〔プレス文 添付 ※但し、別紙「4週間工程」は添付省略 〕
- ・ 9月11日 新潟県中越沖地震後の点検・復旧作業の状況および不適合について
(週報:9月11日)
〔プレス文 添付 ※但し、別紙「4週間工程」は添付省略 〕
- ・ 9月18日 新潟県中越沖地震後の点検・復旧作業の状況および不適合について
(週報:9月18日)
〔プレス文 添付 ※但し、別紙「4週間工程」は添付省略 〕
- ・ 9月18日 柏崎刈羽原子力発電所2号機、4号機、5号機に関する新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書(建物・構築物編)の提出について
〔プレス文 添付 〕
- ・ 9月19日 柏崎刈羽原子力発電所7号機に関する新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価に関する報告書(機器レベルの点検・評価報告)の提出について
〔プレス文 添付 〕
- ・ 9月22日 柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書の見直しならびに提出について
〔プレス文 添付 〕
- ・ 9月25日 新潟県中越沖地震後の点検・復旧作業の状況および不適合について
(週報:9月25日)
〔プレス文 添付 〕
- ・ 9月25日 『柏崎刈羽原子力発電所2号機、4号機、5号機に関する新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書(建物・構築物編)の提出について』の添付資料の一部訂正について
〔プレス文 添付 〕
- ・ 9月25日 柏崎刈羽原子力発電所7号機に関する新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価報告書(建物・構築物編)(改訂1)の提出について
〔プレス文 添付 〕
- ・ 9月25日 柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震に伴う「原子炉施設故障等報告及び電気関係事故報告」の提出について(原因と対策に関する最終報告)
〔プレス文 添付 〕

- ・ 9月26日 『柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書の見直しならびに提出について』の添付資料の一部訂正について
〔 プレス文 添付 〕
- ・ 9月26日 柏崎刈羽原子力発電所7号機に関する新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（改訂5）の提出について
〔 プレス文 添付 〕

以 上

<参考>

当社原子力発電所の公表基準（平成15年11月策定）における不適合事象の公表区分について

区分Ⅰ	法律に基づく報告事象等の重要な事象
区分Ⅱ	運転保守管理上重要な事象
区分Ⅲ	運転保守管理情報の内、信頼性を確保する観点からすみやかに詳細を公表する事象
その他	上記以外の不適合事象

◎総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会への当社説明内容について

- ・ 9月11日 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 第17回地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ
 - ・ 東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所 敷地及び敷地近傍の地質・地質構造に関する補足説明
 - ・ F-B断層の断層長さ見直しに伴う地震動評価
 - ・ 片貝断層（長岡平野西縁断層帯）の不確かさを考慮した地震動評価
 - ・ 解放基盤表面における地震動推定手法に関する補足説明
- ・ 9月24日 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会第18回地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ
 - ・ 柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動の策定に関する補足説明
 - ・ 東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所 敷地及び敷地近傍の地質・地質構造に関する補足説明
 - ・ 東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所 敷地周辺の地質・地質構造に関する補足説明
- ・ 9月25日 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会中越沖地震における原子力施設に関する調査・対策委員会運営管理・設備健全性評価ワーキンググループ第14回設備健全性評価サブワーキンググループ
 - ・ 柏崎刈羽原子力発電所7号機 系統レベルの健全性確認の実施について
 - ・ (添付) 柏崎刈羽原子力発電所7号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書(案)(改訂5)
 - ・ 不適合事象に関する報告について
- ・ 9月26日 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会第20回構造ワーキンググループ
 - ・ 柏崎刈羽原子力発電所6号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価報告書(建物・構築物編)(案)
 - ・ 柏崎刈羽原子力発電所6号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価結果報告(建物・構築物編)

◎新潟県原子力発電所の安全管理に関する技術委員会への当社説明内容について

- ・ 9月 9日 地震、地質、地盤に関する小委員会（第11回）
 - ・ 基準地震動の策定について
- ・ 9月24日 設備健全性、耐震安全性に関する小委員会（第7回）
 - ・ 各号機の点検・解析の進捗状況について
 - ・ これまでの本小委員会における委員ご質問への回答について
 - ・ 柏崎刈羽原子力発電所7号機の健全性評価結果（機器レベル）について
- ・ 9月30日 地震、地質、地盤に関する小委員会（第12回）
 - ・ 柏崎刈羽原子力発電所周辺の地質調査結果について

以 上

(お知らせ)

柏崎刈羽原子力発電所 1・2号機サービス建屋における
発煙に関する原因と対策について

平成 20 年 9 月 11 日
東京電力株式会社
柏崎刈羽原子力発電所

平成 20 年 7 月 22 日午前 10 時 50 分頃、定期検査中の当所 1・2号機サービス建屋 3 階（非管理区域）において、放射線監視設備用電源から発煙を確認したため、ただちに消防署に通報するとともに当該電源を切断し、発煙は停止いたしました。その後、消防署の現場確認により、午前 11 時 26 分に鎮火が確認されました。（平成 20 年 7 月 22 日お知らせ済み）

調査の結果、今回の事象の原因は、放射線監視設備用電源の部品の一部である小型変圧器の設計不良により、巻線内部の温度が規格値を超えた高温の状態に継続使用したため、巻線間の絶縁が劣化して短絡が発生し、発煙に至ったものと推定しております。

対策として、設計を見直した小型変圧器を製作し、巻線内部の温度に問題がないことを確認した後、交換いたしました。

また、発電所内でモニタリングポストの測定およびデータ伝送用に使用されている他の電源を調査した結果、同様な小型変圧器を使用している電源が他に 3 台あることが確認されました。これらについても、当該小型変圧器と同様に設計を見直したものに交換いたしました。

以 上

「柏崎刈羽原子力発電所 6 号機 制御棒駆動機構と制御棒の結合不良について（中間報告）」の経済産業省原子力安全・保安院への提出について

平成 20 年 9 月 12 日
東京電力株式会社

定期検査中の当社・柏崎刈羽原子力発電所 6 号機（改良型沸騰水型、定格出力 135 万 6 千キロワット）において、平成 20 年 6 月 27 日に 1 体の制御棒駆動機構が制御棒と結合していないことを確認いたしました。

（平成 20 年 6 月 27 日お知らせ済み）

その後、原因調査を実施しておりましたが、本日、これまでの調査状況および原因と対策について中間報告としてとりまとめ、経済産業省原子力安全・保安院に提出いたしましたのでお知らせいたします。

今後、本事象に関する再発防止対策等の最終とりまとめを行い、同院へ報告いたします。

以 上

添付資料

- ・「柏崎刈羽原子力発電所 6 号機 制御棒駆動機構と制御棒の結合不良について（中間報告）」の概要

「柏崎刈羽原子力発電所6号機 制御棒駆動機構と制御棒の結合不良について（中間報告）」の概要

1. 事象の概要（平成20年6月27日お知らせ済み）

定期検査中の当社・柏崎刈羽原子力発電所6号機（改良型沸騰水型、定格出力135万6千キロワット）において、平成20年6月2日より制御棒駆動機構（以下FMCRD、全205体）の地震後健全性確認作動試験*1を行っていたところ、6月27日、1体のFMCRDが制御棒（以下CR）と結合していないことが確認された。その後の調査の結果、当該機器に有意な損傷はなく、また、残りの204体のFMCRDについてはCRと結合していることを確認した。

*1 FMCRDの地震後健全性確認作動試験

地震後の設備点検のうち、制御棒駆動機構の基本点検として挿入・引抜き等の動作確認、結合確認等を実施して健全性を確認する試験。

2. 作業履歴に関する調査結果（平成20年7月10日お知らせ済み）

FMCRDとCRは回転式結合機構により噛み合わせて結合しているため、当該結合部を切り離すためには、FMCRDもしくはCRを45度回転させる必要がある。このためFMCRDもしくはCRを回転させる作業履歴について調査した結果、現在実施中の第8回定期検査（平成19年5月24日から継続実施中）において、当該FMCRDの分解点検は実施していないが、当該CRは平成19年6月5日に取替えており、それ以降、当該CRの取外・取付作業は実施していないことが分かった。

このことから、平成19年6月5日に実施したCR取替時に結合不良が生じ、その後、平成19年6月24日に実施した結合確認試験においても結合不良を発見できなかったことが分かった。

3. 原因調査結果

【CR取替作業において結合不良が生じた原因】

○CRの取付作業は、原子炉上部からCR取替装置を用いてCRを吊り降ろしFMCRDと結合させるが、同装置に設置された荷重計の指示変化を確認することにより取付作業が適切に実施されているかを確認している。（添付図「制御棒交換作業の概要」「結合状態の概要」参照）

CR取付・取外作業におけるチェックシートが、各作業手順において重要な事項がチェックされるようになっておらず、取付時の荷重変化に関する注意事項等の記載等が不十分であったことから、作業員は、CRと中空ピストンの位相角（凹凸）が完全に一致していない状態において、取付作業を実施したため結合不良の状態となった。

○その後、当該CRを吊り上げ、その荷重がCRと中空ピストンの合計荷重（約100キログラム）となっていることにより、結合不良がないことを確認する際、工事担当者の思い込みにより、CRの荷重（約70キログラム）のみがかかっていることをもって、問題ないと判断した。

【結合確認試験において正しい判定ができなかった原因】

○平成19年の定期検査では、CRの取替えのみを実施したが、結合確認試験において使用しているチェックシートは、FMCRD分解点検後の結合確認を想定したチェックシートであった。

○結合確認試験は、試験前の段階でCRの分離検出信号が発生している状態で試験を実施した場合、正しい判定とならない（結合不良の状態でも結合状態が「良」と判定される）が、

チェックシートにその旨を記載していなかった。このため、平成19年に実施した当該CRの結合確認試験では、試験前からCRの分離検出信号が発生していた状態にもかかわらず、これを解消せずに試験を実施したため、結合不良を発見することができなかった。（添付図「結合確認試験の概要（通常時）」「分離信号発生状態の結合確認試験（今回）」参照）

4. 過去の類似事例の調査結果

過去の類似事例を調査した結果、当該CRの他に以下の2例を確認した。

①当該号機の第6回定期検査（平成16年）におけるCRの取替作業において、1体の制御棒に結合不良が発生。取付作業後の結合確認試験において、結合不良を確認したため、再度、取付作業を実施。なお、作業の一環である結合確認試験において結合不良を確認し、その後、良好に取り付けられたことから、不適合としては扱っていなかった。

②当該号機の今定期検査におけるCRの取替作業において、別の制御棒1体について結合不良が発生。取付作業後の結合確認試験において、結合不良を確認したため、再度、取付作業を実施。なお、不適合として処理中であったが、作業中の不具合であり、作業の一環として実施された結合確認試験において確認された事象であったことから、他社等へ情報提供する事象として取り扱わなかった。

5. 対策

（1）短期的対策

①結合部が適切に結合出来なかったことへの対策

- ・CR取付・取外作業におけるチェックシートの見直し
 - ▶作業上重要なポイントの明確化、判定基準の明確化等
 - ▶重要な確認項目について、ダブルチェック出来るような作業体制の構築
- ・水中カメラによりCRとFMCRDの結合部の結合状況を直接確認（当面の対応）

②結合確認試験で正しく判定できなかったことへの対策

- ・結合確認試験におけるチェックシートの作成
 - ▶CR取替とFMCRD分解点検の各々の作業に適したチェックシートを作成
 - ▶制御棒分離検出信号が発生している場合にあっては、制御棒分離検出信号を解消してから結合確認試験をすることをチェックシートに明記
- ・結合確認試験の重要性を踏まえ、結合確認試験を定期事業者検査と位置づけて実施
- ・保安規定にCRとFMCRDが結合していることの確認行為について記載

（2）中長期的対策

①結合部が適切に結合出来なかったことへの対策

- ・作業性を考慮したCR取替装置の改善を検討

②結合確認試験が正しく判定できなかったことへの対策

- ・制御棒分離検出信号が発生した状態では結合確認試験に移行出来ないようなインターロックを設置

6. 今後の対応

今後とも調査を継続し、それらの結果がまとまり次第、追って報告する。

以上

柏崎刈羽原子力発電所 6号機における保安規定違反事象（改善指示）について

平成 20 年 9 月 12 日
東京電力株式会社

当社は、平成 20 年 6 月 27 日に柏崎刈羽原子力発電所 6 号機（改良型沸騰水型、定格出力 135 万 6 千キロワット）において 1 体の制御棒駆動機構が制御棒と結合していないことが確認された事象について、本日、経済産業省原子力安全・保安院より、本事象が柏崎刈羽原子力発電所原子炉施設保安規定に違反していると判断され、改善指示文書を受領いたしました。

今回指摘された違反事項は以下のとおりです。

○ 6 号機における制御棒駆動機構と制御棒の結合不良に関して

制御棒の結合確認作業に必要な手順書が策定されず、制御棒駆動機構分解点検後の手順書を適用して不適切な手順で作業を行い、検証および妥当性確認が行われなかったこと。

制御棒の据付時の結合状態の確認作業が適切な管理下で作業が行われなかったこと。

これらのことが、保安規定第 3 条（品質保証計画）*に違反していると判断されました。

今後、この改善指示にもとづき、適切に対応するとともに再発防止に努めてまいります。

以 上

* 保安規定第 3 条（品質保証計画）

第 3 条（品質保証計画）

7. 1 業務の計画

組織は、業務に必要なプロセスを計画して、構築すること

7. 5. 1 業務の管理

組織は、業務を管理された状態で実施すること

柏崎刈羽原子力発電所 6・7号機における
低圧タービン動翼の損傷に関する原因と対策の報告について

平成 20 年 9 月 19 日
東京電力株式会社

当社は、柏崎刈羽原子力発電所 6 号機および 7 号機（いずれも改良型沸騰水型、定格出力 135 万 6 千キロワット）において確認された低圧タービン動翼の損傷事象につきまして、その点検結果を平成 20 年 7 月 31 日にお知らせいたしました。

その後、詳細な原因調査を実施しておりましたが、本日、原因と対策について最終的にとりまとめ、経済産業省原子力安全・保安院からの指示文書*にもとづき、同院に報告いたしましたのでお知らせいたします。

以 上

添付資料

- ・「柏崎刈羽原子力発電所 6・7号機における低圧タービン動翼の損傷事象に関する点検結果ならびに原因と対策について」

*経済産業省原子力安全・保安院からの指示文書

「柏崎刈羽原子力発電所における平成 19 年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び耐震安全性への影響評価について」

（平成 19 年 7 月 16 日付平成 19・07・16 原院第 1 号）

<抜粋>

当院としては、今回の地震時に取得された地震観測データの分析を行うとともに分析結果を踏まえて安全上重要な設備を対象に今回の地震による耐震安全性を確認しておくことが必要と判断します。

このため、貴社に対して下記の事項について報告することを求めます。

記

1. 今回の地震時に取得された地震観測データの分析
2. 今回の地震に対する安全上重要な設備の耐震安全性の確認

柏崎刈羽原子力発電所6・7号機における 低圧タービン動翼の損傷事象に関する 点検結果ならびに原因と対策について

平成20年9月19日

東京電力株式会社

柏崎刈羽原子力発電所

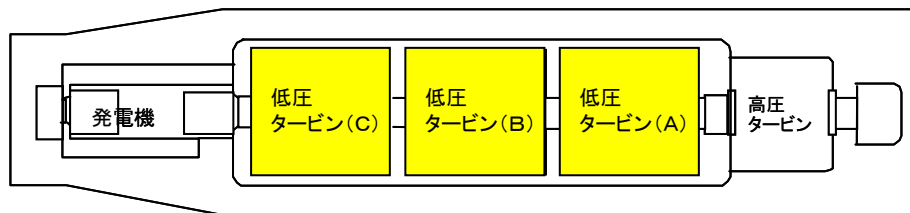


東京電力

低圧タービン動翼の
損傷事象に関する点検結果
(平成20年7月31日お知らせ済み)

・6・7号機低圧タービンは3台の低圧タービンで構成

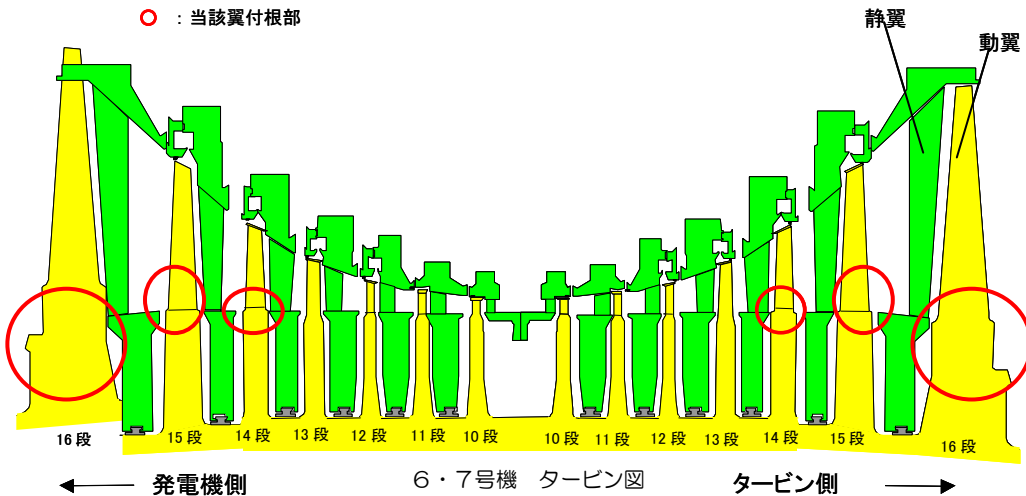
低圧タービンの翼は第10段～第16段の7段で構成されており、翼植込み部については鞍型構造(第10段～第13段)とフォーク型構造(第14段～第16段)の2種類がある。



緑色：静翼（ノズルダイヤフラム）

黄色色：動翼（タービンロータ）

○：当該翼付根部



← 発電機側

6・7号機 タービン図

タービン側 →



鞍型構造

(第10段～第13段)



フォーク型構造

(第14段～第16段)

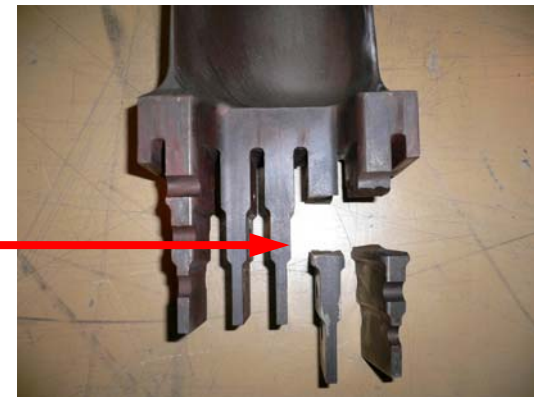
◆ 経緯

- 7号機第14段～第16段フォーク型翼についてフォークピンの超音波探傷検査(UT)を実施した結果、低圧タービン(C)第14段タービン側翼フォークピンに1箇所の指示が確認された。
- フォークピンに指示が確認された翼を抜き取って点検したところ、フォークの折損が確認された。
- なお、第10段～第13段の鞍型翼について翼付け根部の外観点検および超音波探傷検査(UT)を実施した結果、異常は確認されなかった。
- この結果を踏まえ、当該箇所の詳細な点検と同型翼(フォーク型翼)の7号機および6号機※の類似箇所(第14段～16段翼)の点検(翼の抜き取りおよび磁粉探傷検査(MT))を実施した。
- 折損箇所および非破壊検査指示箇所については破面の調査も併せて実施した。

(※同様の構造の翼を採用しているプラントは、柏崎刈羽原子力発電所6、7号機(ABWR)のみ)



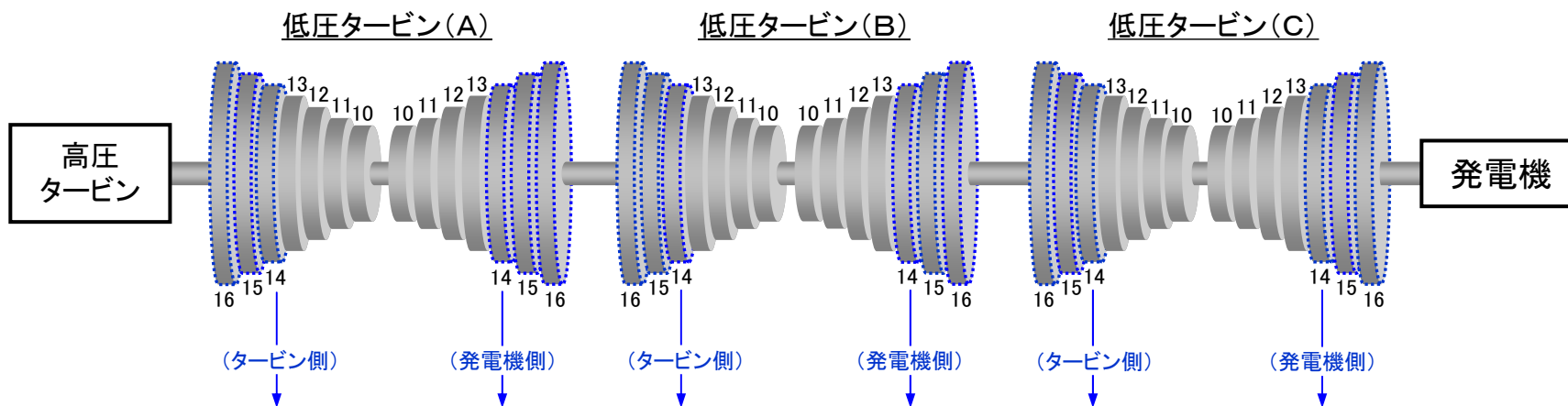
フォーク型翼
(第14段の例)



低圧タービン(C) 第14段翼折損状況(119枚目)

◆ 6号機 低圧タービン点検結果

☐ : 点検範囲



■ 第14段

折 損	0枚 / 152	0枚 / 152
指示模様	12枚 / 152	0枚 / 152

0枚 / 152	0枚 / 152
63枚 / 152	28枚 / 152

0枚 / 152	0枚 / 152
1枚 / 152	33枚 / 152

■ 合計

0枚 / 912枚 (総数)
137枚 / 912枚 (総数)

■ 第15段

折 損	0枚 / 126	0枚 / 126
指示模様	0枚 / 126	0枚 / 126

0枚 / 126	0枚 / 126
0枚 / 126	0枚 / 126

0枚 / 126	0枚 / 126
0枚 / 126	0枚 / 126

0枚 / 756枚 (総数)
0枚 / 756枚 (総数)

■ 第16段

折 損	0枚 / 130	0枚 / 130
指示模様	0枚 / 130	0枚 / 130

0枚 / 130	0枚 / 130
1枚 / 130	0枚 / 130

0枚 / 130	0枚 / 130
4枚 / 130	0枚 / 130

0枚 / 780枚 (総数)
5枚 / 780枚 (総数)

◆7号機 低圧タービン点検結果

⋯: 点検範囲

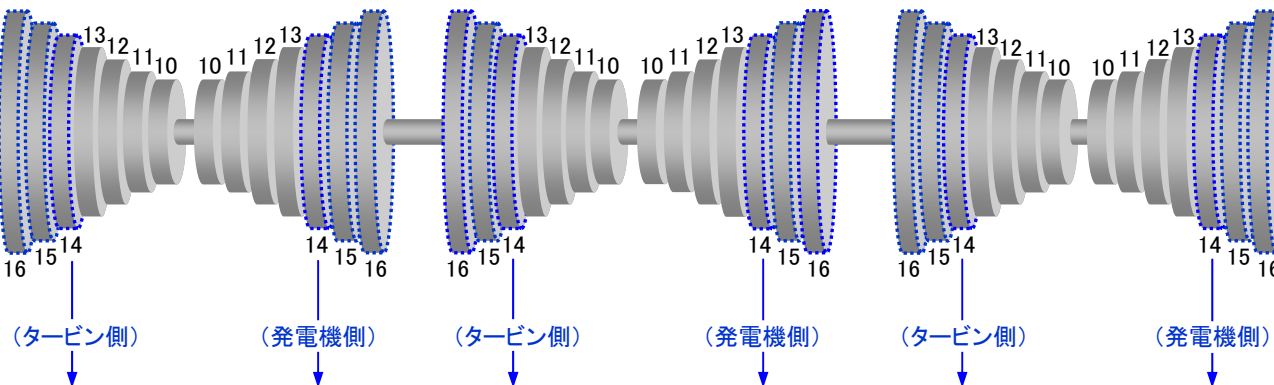
低圧タービン(A)

低圧タービン(B)

低圧タービン(C)

高圧タービン

発電機



■ 第14段

折損	0枚 / 152	0枚 / 152
指示模様	1枚 / 152	0枚 / 152

1枚 / 152	0枚 / 152
50枚 / 152	22枚 / 152

1枚 / 152	0枚 / 152
17枚 / 152	0枚 / 152

■ 合計

2枚 / 912枚 (総数)
90枚 / 912枚 (総数)

■ 第15段

折損	0枚 / 126	0枚 / 126
指示模様	0枚 / 126	0枚 / 126

0枚 / 126	0枚 / 126
0枚 / 126	0枚 / 126

0枚 / 126	0枚 / 126
1枚 ※ / 126	0枚 / 126

0枚 / 756枚 (総数)
1枚 / 756枚 (総数)

■ 第16段

折損	0枚 / 130	0枚 / 130
指示模様	1枚 / 130	18枚 / 130

0枚 / 130	0枚 / 130
19枚 / 130	18枚 / 130

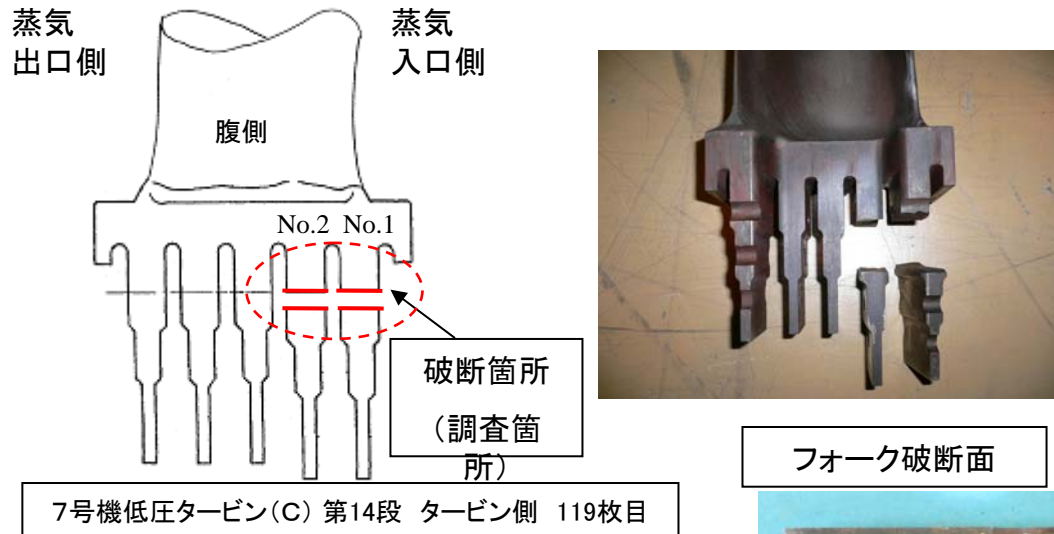
0枚 / 130	0枚 / 130
9枚 / 130	31枚 / 130

0枚 / 780枚 (総数)
96枚 / 780枚 (総数)

※第15段は指示が微小であり、かつ、系統的な指示模様の発生が見られず第14段および第16段と様相が異なる。製造過程や翼の取り外し作業等に伴って生じたものと考えられる。

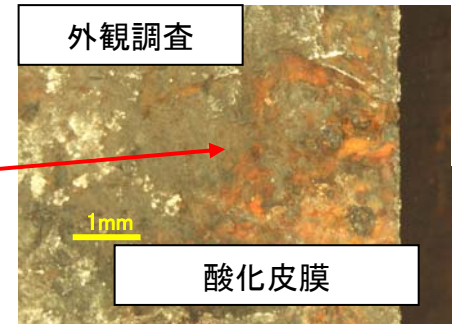
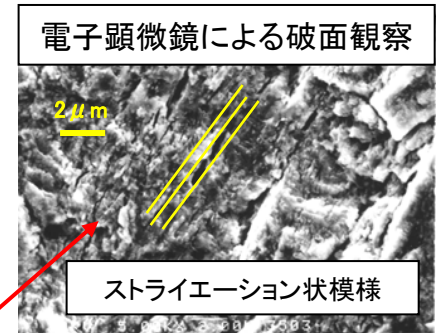
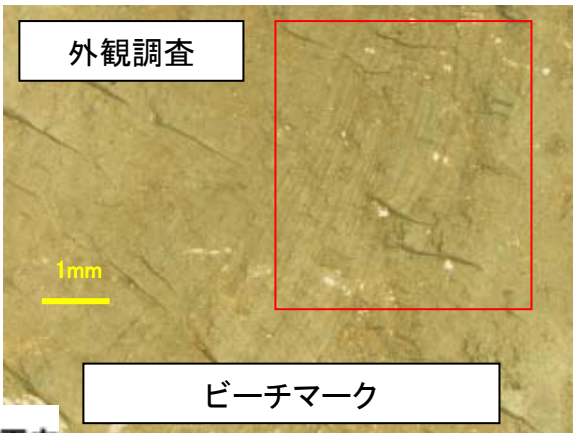
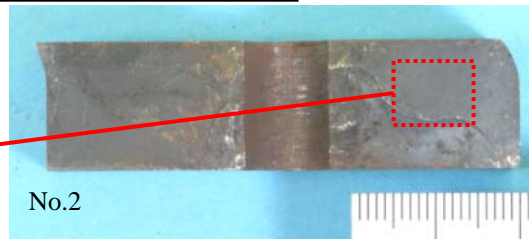
◆低圧タービン第14段動翼フォーク部の調査結果（損傷箇所）

● 低圧タービン第14段の折損した動翼フォーク部について破面調査を行った結果、高サイクル疲労破面に見られるような縞状の模様（ビーチマークおよびストライエーション状模様）が確認された。また、破面には酸化皮膜が形成されていた。これらのことから、今回のプラント停止（新潟県中越沖地震発生）以前に高サイクル疲労により損傷に至ったものと考えられる。



金属調査実施項目	調査結果
・外観調査	・ビーチマークを確認 ・酸化皮膜を確認
・破面観察(走査型電子顕微鏡)	・ストライエーション状模様を確認

フォーク破断面

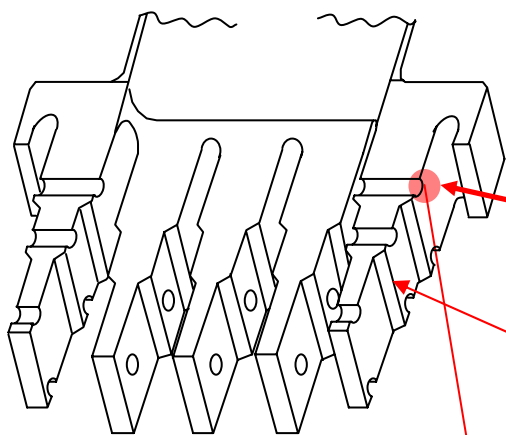


◆点検結果

■低圧タービン第14段および第16段の指示模様について

- ・フォーク部の磁粉探傷試験による指示模様は、大部分が5本（第14段）あるいは7本（第16段）あるフォーク部外側部分に発生。また、磁粉探傷試験による指示模様は、ピン穴端部から発生。

動翼フォーク部（第14段の例）

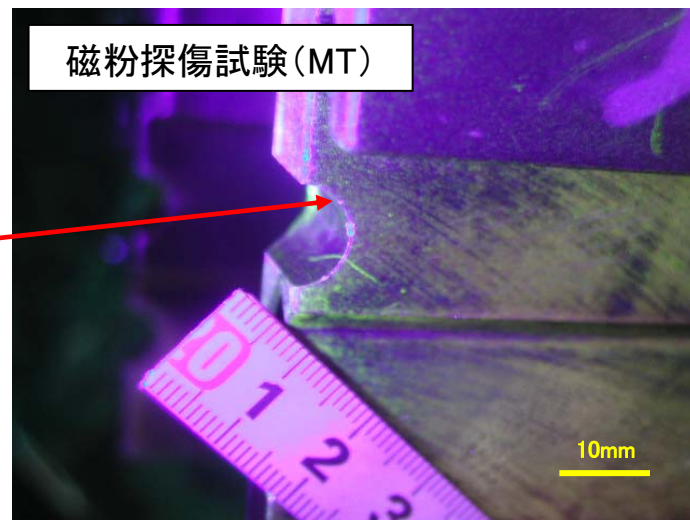


ピン穴端部

フォーク部外側部分

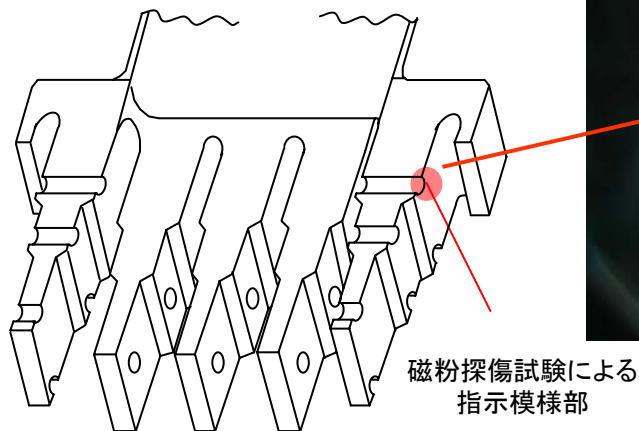
磁粉探傷試験
指示確認箇所

磁粉探傷試験 (MT)

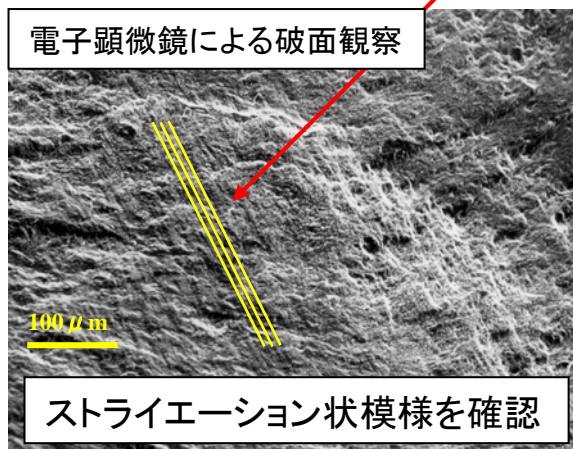
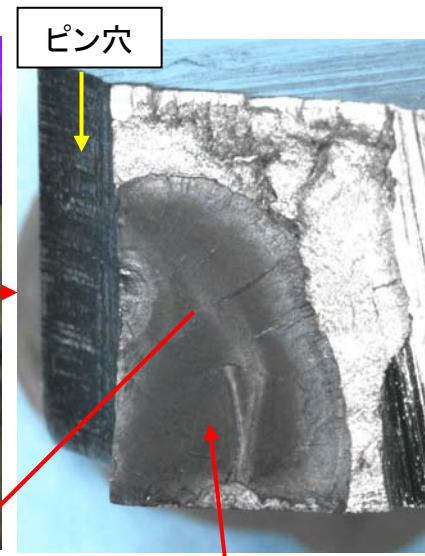
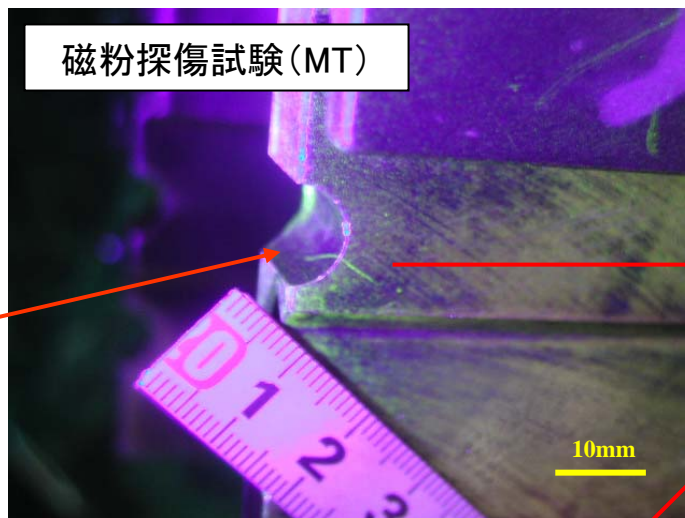


◆低圧タービン第14段動翼フォーク部の調査結果（磁粉探傷試験による指示模様部）

- 低圧タービン第14段の磁粉探傷試験による指示模様部について破面調査を行った結果、高サイクル疲労破面に見られるようなビーチマークおよびストライエーション状模様が確認された。また、破面には酸化皮膜が形成されていた。これらのことから、今回のプラント停止（新潟県中越沖地震発生）以前に高サイクル疲労により損傷に至ったものと考えられる。



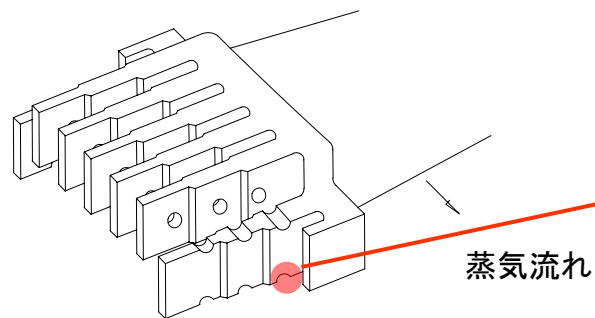
7号機低圧タービン(C) 第14段 タービン側 120枚目 (代表例)



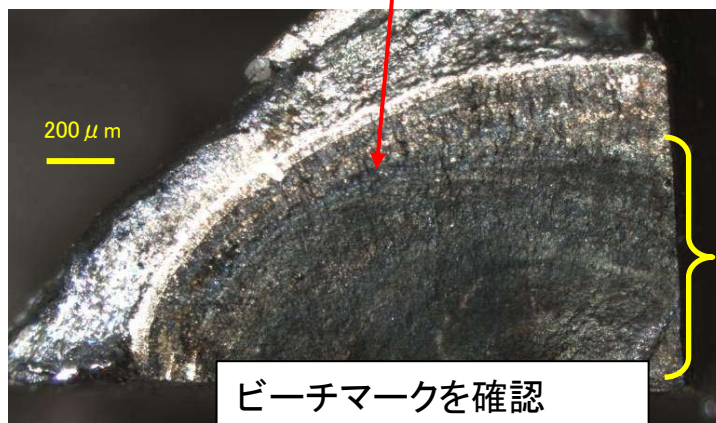
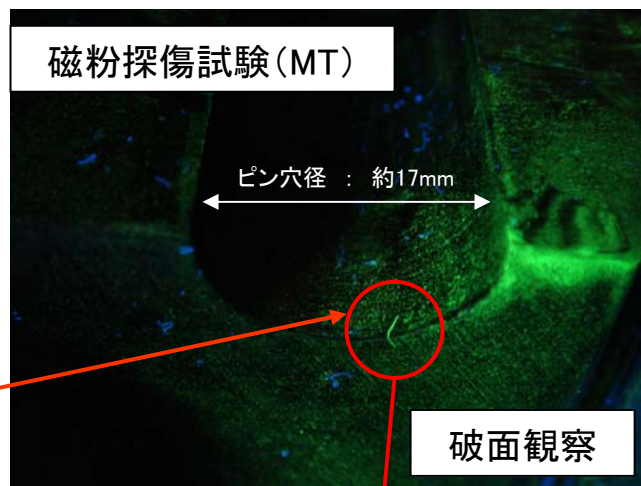
黒色部は亀裂破面 (酸化皮膜が形成)

◆低圧タービン第16段動翼フォーク部の調査結果 (磁粉探傷試験による指示模様部)

- 低圧タービン第16段の磁粉探傷試験による指示模様部について破面調査を行った結果、高サイクル疲労破面に見られるようなビーチマークが確認された。また、破面には酸化皮膜が形成されていた。これらのことから今回のプラント停止(新潟県中越沖地震発生)以前に高サイクル疲労により発生したものと考えられる。



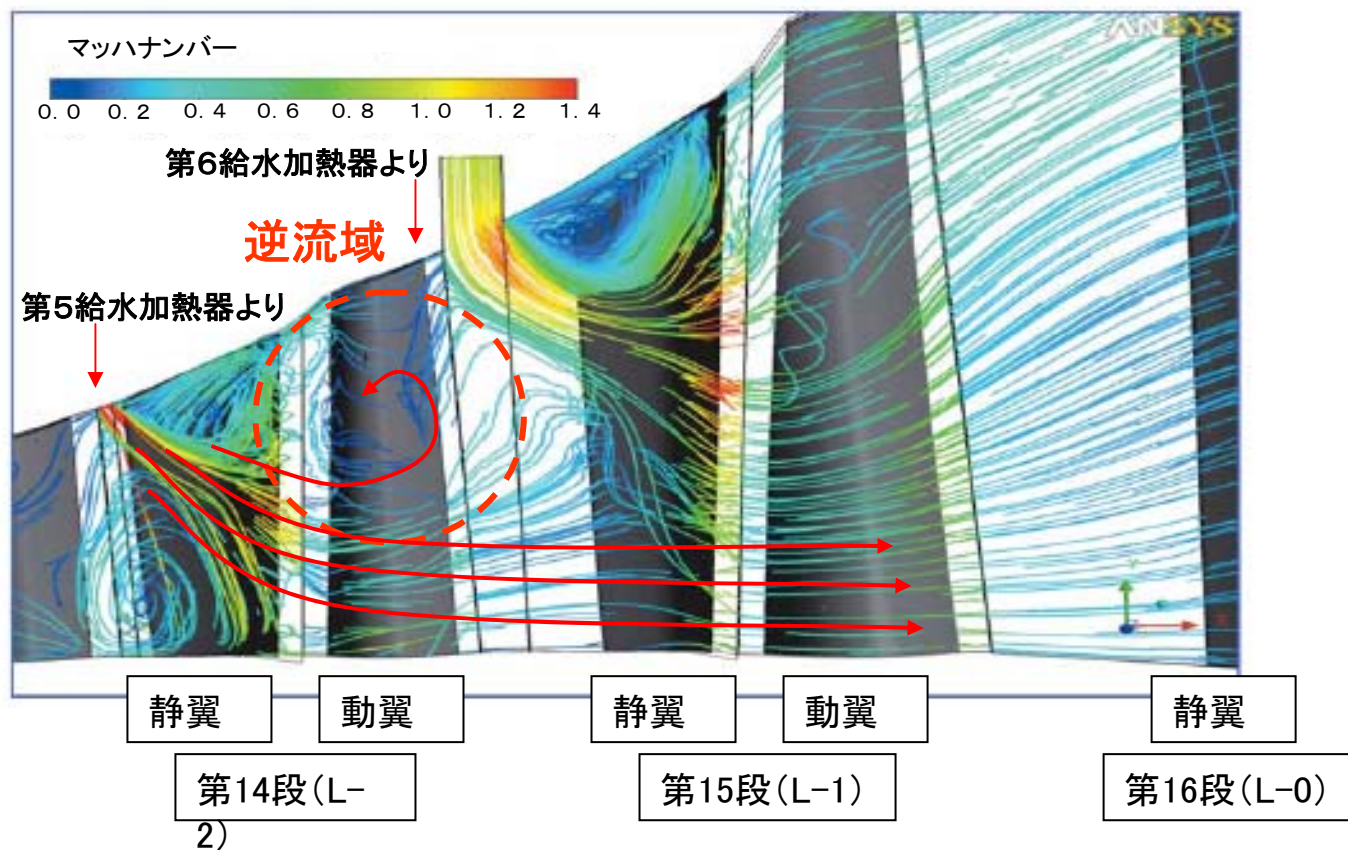
7号機低圧タービン(B) 第16段タービン側 102枚目
(代表例)



低圧タービン動翼の損傷事象に関する 推定原因および対策

◆推定原因（第14段）

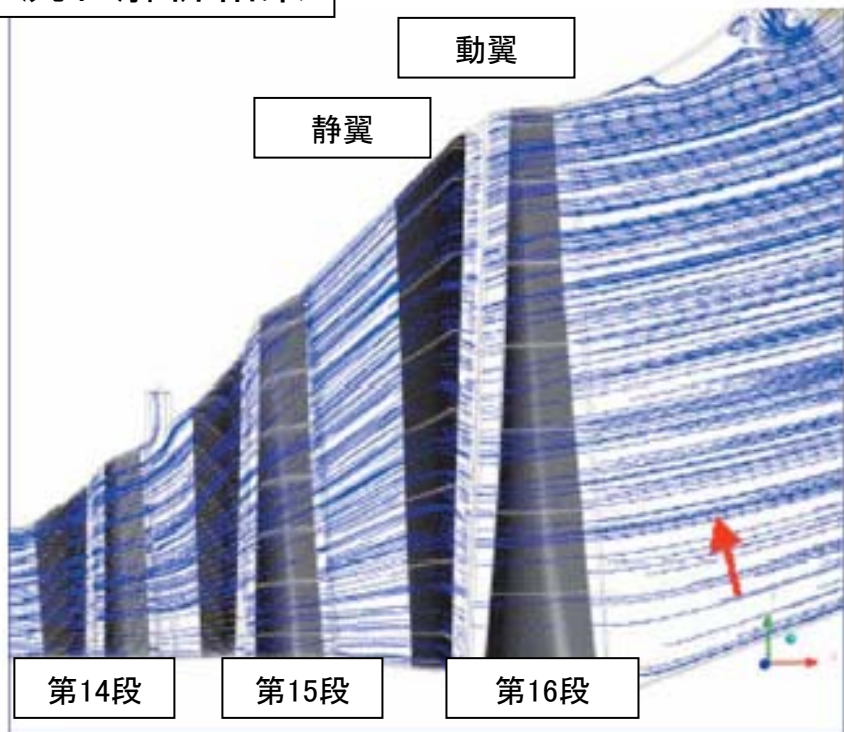
- 流れ解析の結果等から負荷遮断時の抽気系（第5・6給水加熱器）からの逆流（フラッシュバック：資料1）により第14段動翼先端部が不安定な蒸気の逆流域となり、第14段動翼に振動させる力を発生させたものと推定した。
また、損傷破面観察の結果から、フラッシュバックによる発生応力は疲労限を上回り、これによりき裂が発生・進展したものと推定した。



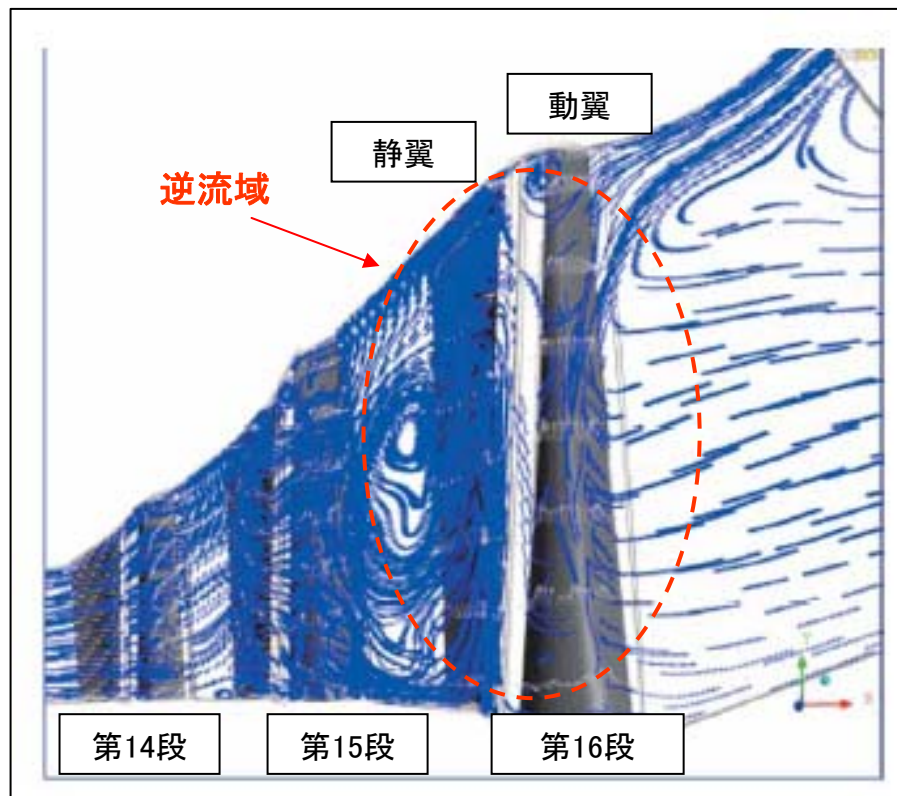
◆推定原因（第16段）

流れ解析の結果等から、低負荷時（蒸気流量が少ない段階でタービンを定格回転数で運転している状態：FSNL）に第16段動翼付近に蒸気の逆流域が発生し、これが、第16段動翼に振動させる力（ランダム振動）を発生させたものと推定。また、損傷の破面観察の結果等から通常の起動時における復水器真空度ではき裂の発生進展には至らないと想定されるため、き裂は試運転時に発生および進展していたものと推定。

流れ解析結果



100%負荷時



5%負荷時

◆対策（第14段）

1. 第14段動翼は全数、同設計の新翼に交換する
2. 負荷遮断が起こらなければ傷は発生せず、ほとんど進展もしないと考えられることから、これまでの負荷遮断回数(約12回)およびフォーク部の損傷状況を考慮し、負荷遮断が4回に達した時点で点検を計画する。
3. 負荷遮断回数が4回に達しない場合にあっても、最も傷が多く確認された低圧車室(B)タービンの開放点検※に合わせて、動翼フォーク部の点検(サンプリング率を翼数の20%程度とする)を行い、本事象に対する原因・対策の妥当性を検証する。
4. あわせてフラッシュバック発生時のタービンの挙動をより正確に把握するため、プラントパラメータをモニタリングする。(発電機出力、タービン回転数、給水加熱器圧力、復水器真空度、タービン軸振動など。)

※タービン開放点検頻度は、

- ・ 累積運転時間が10万時間以上であれば最長3年毎に1回実施
- ・ 累積運転時間が10万時間未満であれば最長4年毎に1回実施

◆対策（第16段）

1. 第16段動翼は傷がごく小さいことから全ての傷を除去するとともに、ピン穴への応力集中を低減するため、全ての翼の蒸気入口および出口側の外側(上部)ピン穴端部の面取り加工(資料2)を実施する。
2. FSNL運転時に発生する振動応力を低減するために、起動時の復水器真空度を高く設定するとともに、FSNL運転時間を可能な限り短縮する。
3. あわせてプラントパラメータ(タービン回転数、復水器真空度等)をモニタリングする。
4. 上記の対策により傷は発生せず、ほとんど進展もしないと考えられることから、これまでのFSNL時間(約240時間)およびフォーク部の損傷状況を考慮し、FSNL時間が80時間に達する前に点検を実施する。
5. FSNL時間が80時間に達しない場合にあっても、傷が多く確認された7号機低圧車室(B)タービンの開放点検に合わせて、動翼フォーク部の点検(サンプリング率を翼数の20%程度とする)を行い、本事象に対する原因・対策の妥当性を検証する。

◆更なる信頼性向上への取り組み

- 今回損傷が確認された第14段および第16段については動翼の交換および傷の除去、フォーク部の点検、プラントパラメータのモニタリング等により、健全性を確保できるものと考えられるが、これらの点検やモニタリングの結果を適宜、分析・評価し、今回の対策の有効性を確認していくこととする。
- 7号機低圧(B)タービン第16段動翼のフォーク部点検に合わせ、7号機低圧タービン(B)に対し第15段動翼フォーク部の点検(サンプリング率を翼数の20%程度とする)を行い、今後の知見拡充に努める。
- 将来的なタービン翼付け根部(フォーク部)の検査技術として、超音波探傷試験(UT)による欠陥検出性の検証を行い、信頼性向上を図る。
- 第15段(L-1)翼への非定常流の影響評価などを中期的な課題として整理し、継続して詳細評価を進めるとともに、今後のタービン設計・開発段階においては、今回事象の原因となった負荷遮断時のフラッシュバックや低負荷運転時の非定常な蒸気流れによってタービン翼に発生する応力について詳細な評価を行っていく。また、今回の6、7号機についてもこれらの知見にもとづき、フォーク部に発生する振動応力が一層低減するような設計改良について、これまでの運転実績も考慮し、10年程度以内の実用化を目標に検討していく。なお、これらの評価にあたっては学識者からによる客観的なレビューを反映していくことを検討する。

◆対策・更なる信頼性向上への取り組み（まとめ）

■対策

	第14段	第16段
設計	・全ての翼を、同設計の新翼に交換	・全ての翼の所定のピン穴端部に面取り加工を実施し、傷を除去
運用	・プラントパラメータのモニタリング（フラッシュバック発生時）	・起動時の復水器真空度を高く設定 ・FSNL運転時間を可能な限り短縮 ・プラントパラメータのモニタリング
点検	・負荷遮断が4回に達した時点で点検を計画 ・負荷遮断が4回に達しなくても、6、7号低圧車室(B)タービンの開放点検に合わせて動翼フォーク部点検(サンプリング率は翼数の20%程度)を行う	・FSNL運転時間が80時間に達する前に点検を実施 ・FSNL運転時間が80時間に達しなくても、7号機低圧車室(B)タービンの開放点検に合わせて動翼フォーク部点検(サンプリング率は翼数の20%程度)を行う

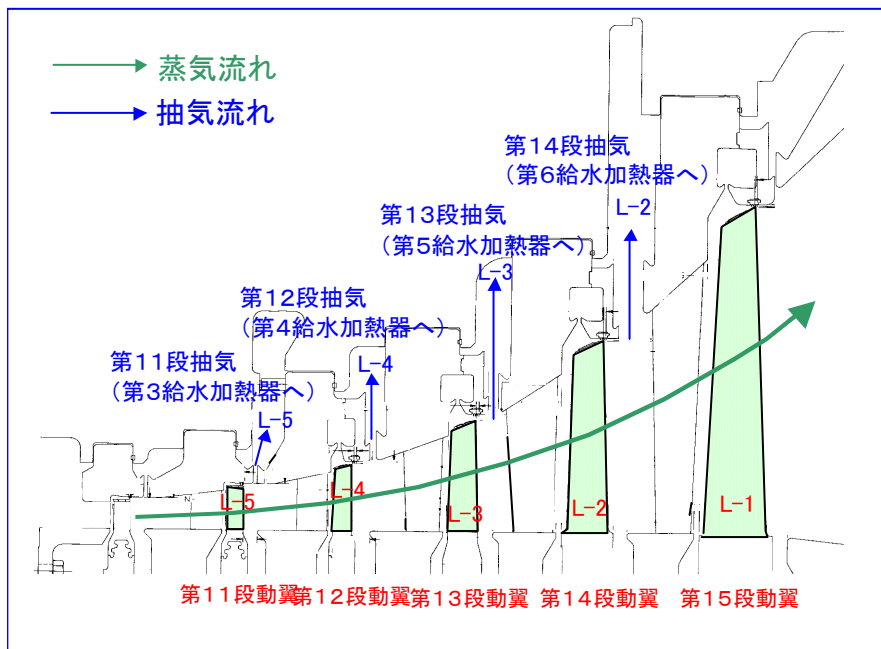
■更なる信頼性向上への取り組み

	項目	取り組み事項
短期的	運用	・第14段および第16段についての点検やモニタリング結果を適宜、分析・評価し、今回の対策の有効性を確認する。
	点検	・タービン動翼フォーク部の検査技術として、超音波探傷試験(UT)の信頼性向上を図る。 ・7号機低圧(B)タービン第16段動翼のフォーク部点検に合わせて、第15段動翼のフォーク部点検(サンプリング率は翼数の20%程度)を行い、今後の知見拡充に努める。
長期的	設計	・負荷遮断時のフラッシュバックや低負荷運転時のタービン動翼に発生する応力について詳細な評価を行う。 ・フォーク部に発生する振動応力が一層低減するような設計改良について10年程度以内の実用化を目標に検討する。

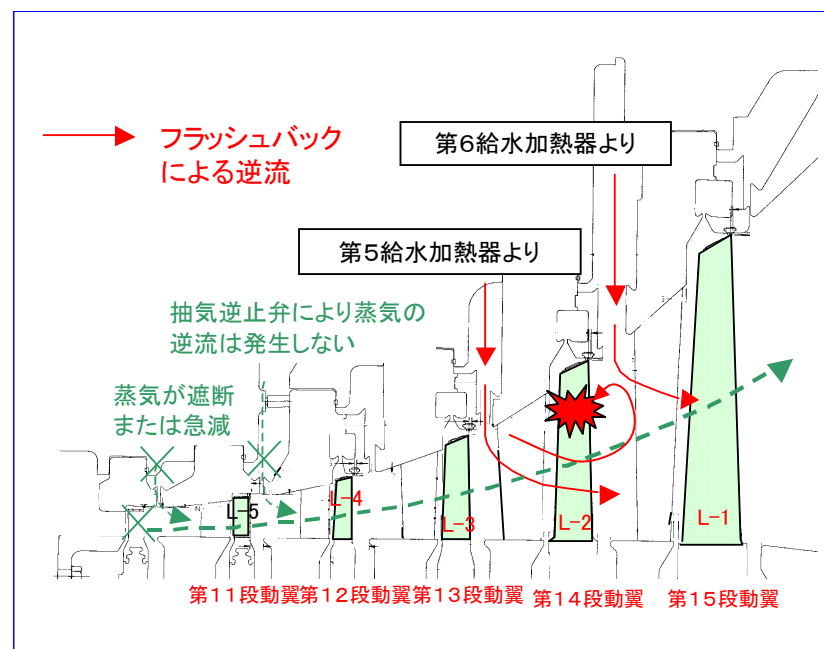
◆フラッシュバックとは

(資料
1)

通常運転時の蒸気の流れ



フラッシュバック時の蒸気の流れ



フラッシュバックの挙動

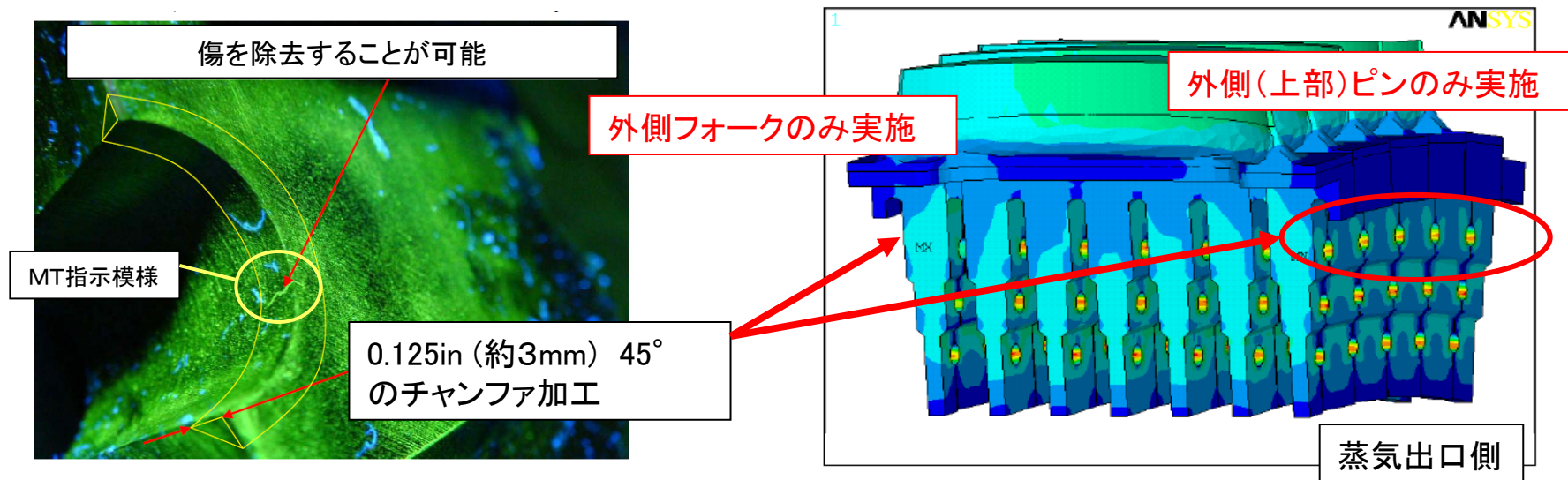
- ①蒸気量が急減または蒸気が遮断
- ②タービン内の圧力が低下
- ③給水加熱器の圧力が低下し、加熱器内で減圧沸騰が発生し、蒸気が高速で逆流する

◆面取り加工とは

(資料
2)

■第16段動翼は傷がごく小さいことから面取り加工により全ての傷を除去する。

■面取り加工は全ての翼の蒸気入口および出口側の外側(上部)ピン穴端部に対して行い、これにより傷の除去に加えてピン穴への応力集中低減を図ることができる。



面取り加工イメージ

面取り加工実施位置